

## LCA (ライフサイクル アセスメント) の一方法について\*

相 楽 和 男\*\*、藤 本 容 子\*\*

On an approach to the LCA (Life Cycle Assessment)

Kazuo Sagara, Yohko Fujimoto

### キーワード:

ライフサイクル アセスメント、インベントリ分析、インパクト評価、インパクトカテゴリー指標、プロセス間収支計算法

### 概 要:

LCA (ライフサイクル アセスメント) は、製品システムの製造から使用、廃棄までのライフサイクル全体を通じて環境負荷を定量的に把握し、環境への影響を評価する手法として認知されるようになってきた。ISO14040シリーズによってそのフレームワークが規定され、多方面にわたる研究とデータベースの整備が進められている。しかし、膨大な量のデータを取り扱うためのシステムティックな方法が、十分に確立されているとは言い難い。本論文は、わが国においてあまり研究されていない酪農製品のLCAを実施するに当たり、インベントリ分析とインパクト評価を行行演算によって定式化し、計算を体系的に行うようにした方法について述べたものである。実際の計算は、表計算ソフトExcelのワークシート上に行列を表として作成し、演算用の関数を用いて行った。

### はじめに

LCA (ライフサイクル アセスメント) は、近年注目されている環境影響評価の一手法である<sup>1)</sup>。検討対象とする製品、エネルギー、サービスなど(以下製品と言う)について、原材料の投入から生産、輸送、使用、廃棄/リサイクルに至るまでのライフサイクル全般を通して (from the cradle to the grave) 環境負荷の直接量および誘引量を定量化し、環境への影響を評価しようとするものである。したがって環境によい製品を提供するには如何にすべきか、複数の選択肢が存在する場合どれを選ぶか、ライフサイクル全段階の環境負荷を定量的に表して、判断基準を提供するのに有効な方法と考えられる。そのフレームワー

クは、①目的と調査範囲の設定、②インベントリ分析、③インパクト評価、④結果の解釈の4段階で構成すべきだとISO14040シリーズに示されている<sup>2)</sup>。

これら4段階の内容は、それぞれ次のようなものである。

#### ①目的と調査範囲の設定

LCAは、原材料の投入から廃棄/リサイクルまで極めて広い範囲をカバーしているため、なにが目的か、どの範囲を調査対象とするかを明確にすることが、調査の無駄をなくし、調査の有効性を高める上で必要となる。この範囲を「系」とよぶことにする。

#### ②インベントリ分析

製品のライフサイクル全段階で、投入された原材料、中間製品、エネルギー、環境への排出物とその量を算出するのがインベントリ分析である。いわば棚卸しであり、使われる素材の種類が多くなれば作業量は膨大となるが、これがLCAの中心作業である。

#### ③インパクト評価

インベントリ分析で得られた結果から、環境影響項目ごとに影響の度合い(インパクト)を算出評価するのがこの段階である。一般的には、エネルギー消費、地球温暖化、オゾン層破壊、酸性雨、大気・水への排出、有害廃棄物、海洋汚染、森林破壊、砂漠化、生物種の減少などの環境影響カテゴリーごとに、影響を集計して評価する。

#### ④結果の解釈

インベントリ分析や、インパクト評価をそれぞれあるいは総合的に評価し、解釈を行う。LCAを行った目的・範囲を確認し、評価の結果と最初に設定した目標とを比較し、対象の改良、改善の検討を行い必要に応じてその結果を各段階にフィードバックする。

LCA (ライフサイクル アセスメント) は、1969年、アメリカでコカコーラ社が飲料容器の環

\* Received December 20, 2004

\*\* 長崎ウエスレヤン大学 現代社会学部 福祉コミュニティ学科、Faculty of Contemporary Social Studies, Nagasaki Wesleyan University, 1057 Eida, Isahaya, Nagasaki 854-0081, Japan

境への影響をトータルにみように行った取り組みから始まったと言われている。1970年代には、オイルショックによる省エネルギーやリサイクルへの関心が高まり、アメリカにおいて環境影響評価としてのLCA研究も進展した。1980年代に入るとヨーロッパにおける環境問題への高い関心から、使い捨て包装容器のあり方が注目され、LCA研究と共にEPS（Environment Priority Strategies for Product Design）システムを試みた製品開発が行われ始めた。1980年代から1990年代初頭にかけてはLCA研究が大きく進展した時期であり、LCAの概念の整理、手法の確立が進められた。日本においてLCA的な概念に基づく研究が行はれるようになったのは1990年代になってからで、環境庁が1992年LCAに関する網羅的な研究として「環境への負荷の評価に関する予備的検討」を実施したのが契機になっている。2004年LCA日本フォーラムが設立され、研究の一層の進展が図られることとなった。

この間研究対象として取り上げられたのは主として工業製品で、インベントリ分析に必要なデータベースも工業製品を中心に整備されてきた<sup>3), 4)</sup>。しかし、環境への認識が深まるにしたがい研究対象も広がり、LCA研究の先進地域ヨーロッパ（特にスウェーデン、デンマーク、オランダなどの北欧）では近年農業生産物へも対象が広められ、有機農業と非有機農業をLCAの観点から比較するような研究が行われている<sup>5), 6), 7)</sup>。

本論文では、以上の考察と本学の地域性から酪農業生産物の牛乳を研究の対象とし、インベントリ分析ならびにインパクト評価を行列演算によって定式化し、Excelによって計算する方法を提案する<sup>8)</sup>。

## 1. LCAの方法について

### 1. 1 インベントリ分析の方法

インベントリ分析の方法は現在の所3通りに大別される。積上げ分析法、産業連関分析法とプロセス間収支計算法である。第1の方法は資源の採取、材料もしくは部品の生産、製品の製造、製品の使用、廃棄物の処理までの製造プロセスとそれに関わる輸送や発電のような他のプロセスから排出される環境負荷などについて調べ、積上げていく分析法である。詳細なデータが得られる場合、結果の信頼性はきわめて高いものとなるが、データの収集・計算作業が膨大なものとなる欠点がある。次に経済統計である産業連関表を利用して生

産波及効果から推計する方法が第2のものである。この産業連関表による方法は、連関表自体がインベントリであり客観性に優れている。難点としては日本の産業の代表値で求められているために個別の製品に適用する細かい部分のデータが得られず、結果が平均的なものとなることである。

第3の方法は、部品の生産、製品の製造、その使用、廃棄物の処理などの各プロセスが相互に中間製品、エネルギーなどを通して連係しており、1つのプロセスは1つのアウトプットを持ち、それが他のプロセスのインプットになっているという関係を利用するものである。この関係は最終製品まで含めると、プロセス間で全ての中間製品について収支が成り立っていることを意味している。したがって最終製品の量が与えられると、各プロセスのアウトプット量を求めることができ、それらの量を用いて、環境負荷、資源消費などの量を規定できるのである。この方法の特長は下流のプロセス（プロセスの連鎖を一つの流れと考えた時最終製品に近いもの）のアウトプットが上流のプロセスのインプットになっていても、全体のアウトプット量を正しく求められることである。これが積上げ法では最下流からツリー構造で上流に向かって積上げていくため、上のような場合、正確な計算ができず、近似的な答を得るにとどまるという欠点がある。

本論文ではこの第3の方法に行列を適用して定式化し、インベントリ分析を行った。LCAの計算に行列演算を用いることはHeijungsがすでに提案している<sup>9)</sup>が、その定式化ではインベントリ分析時に行列が非正則となることがあり、それに線形代数的に対処するため、さまざまな提案を行っている。しかし、問題の本質は定式化そのものにあるのであって、線形代数学による解法にあるのではない。以下に本論文の方法の詳細を述べる。

### 1. 2 インベントリ分析の定式化

部品の製造、製品の組み立て、輸送、使用、廃棄物の処理などを行う単位をプロセスとよび、プロセスのアウトプットである中間製品をプロダクトとよぶことにする。プロセスは、他のプロセスのプロダクトをインプットとして機能することで、プロセス相互の連関を形作っている。この部分を経済部ということにする。さらにプロセスは、環境から資源を提供され環境負荷を排出している。この関係を環境部とする。LCAの対象と

するプロダクトを最終デマンドとよぶ。最終デマンドは複数のプロダクトで構成される。

ここでプロセスのプロダクトは一つただ一つとする。複数のプロダクトが考えられる場合は、プロダクトが一つの複数のプロセスに分割する。たとえば、蒸気、電力併給プラントのように複数のプロダクトを出すものがある。このような場合には蒸気発生と電力生成の二つのプロセスがタンデムに存在して、発生蒸気の一部から電力が生成されるとすれば、上の条件を満たすようにすることができる。

最終デマンドに至るまでのプロセス数を  $n$  とし、それらに關与する資源あるいは環境負荷全体の数を  $m$  とする。当然、プロダクト数は  $n$  である。  $i$  番目のプロセスのプロダクトの量を  $a_{ii}$  とし、  $a_{ii}$  を生成するために投入される  $j$  番目のプロセスのプロダクトの量を  $a_{ji}$  ( $j \neq i, j = 1, 2, 3, \dots, n$ ) として、次のプロセス  $i$  の経済部を表現するベクトルを定義する。

$$A_i = \begin{bmatrix} a_{1i} \\ a_{2i} \\ a_{3i} \\ \vdots \\ a_{ii} \\ \vdots \\ a_{ni} \end{bmatrix}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (1)$$

$i$  番目のプロセスのプロダクト  $a_{ii}$  に關与する  $k$  番目の資源あるいは環境負荷の量を  $b_{ki}$  ( $k = 1, 2, 3, \dots, m$ ) として、プロセス  $i$  の環境部を表現するベクトルを次で定義する。

$$B_i = \begin{bmatrix} b_{1i} \\ b_{2i} \\ b_{3i} \\ \vdots \\ b_{ki} \\ \vdots \\ b_{mi} \end{bmatrix}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2)$$

対象とできる最終デマンドの最大数は、プロダクト数に等しく  $n$  である。  $i$  番目の最終デマンドの量を  $f_i$  として、最終デマンドベクトルを次のように定義する。

$$F = \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ \vdots \\ f_i \\ \vdots \\ f_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

インベントリ量は、最終デマンドに關与する資源あるいは環境負荷の総量である。その数は当然  $m$  である。  $k$  番目のインベントリ量を  $q_k$  としてインベントリ量ベクトルを次のように定義する。

$$Q = \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ \vdots \\ q_k \\ \vdots \\ q_m \end{bmatrix} \quad (4)$$

全てのプロダクトは、他のプロセスのインプットとして投入されるか、最終デマンドとなるかである。すなわち、系内で生成されたプロダクトは最終デマンドまでを含めると、全て系内で消費されるということであり、プロセス間でプロダクトには完全な収支が成り立っているということである。これは、LCAにおける要請というより物理学的な要請である。この収支関係は、(1)、(3)式のベクトルを用いると次のように定式化される。

$$A_1 p_1 + A_2 p_2 + A_3 p_3 + \dots + A_i p_i + \dots + A_n p_n = F \quad (5)$$

ただし、 $p_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ) はプロダクト  $i$  のスケールファクターである。(1)式で  $a_{ii}$  を定める時、最終デマンドには無関係に定めた。そこで  $a_{ii}$  と  $F$  の量的関係を与えるものとして導入した。次によってスケールファクターベクトルを定義する。

$$P = \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ \vdots \\ p_i \\ \vdots \\ p_n \end{bmatrix} \quad (6)$$

ここで、(1) 式のベクトルを列方向に並べて

$$A = [A_1 \quad A_2 \quad A_3 \quad \cdots \quad A_i \quad \cdots \quad A_n] \quad (7)$$

によって経済部行列を定義し (6) 式を用いると、(5) 式は次のように表せる。

$$A P = F \quad (8)$$

インベントリ量  $Q$  は、 $b_{ki}$  が  $a_{ij}$  との関連で決められているので、(5) 式でスケールファクター  $p_i$  を導入したのと同じ理由から、(2) 式の  $B_i$  と (6) 式の  $p_i$  によって次のように与えられる。

$$Q = B_1 p_1 + B_2 p_2 + B_3 p_3 + \cdots + B_i p_i + \cdots + B_n p_n \quad (9)$$

経済部行列と同じように (2) 式のベクトルを列方向に並べて

$$B = [B_1 \quad B_2 \quad B_3 \quad \cdots \quad B_i \quad \cdots \quad B_n] \quad (10)$$

によって環境部行列を定義し (6) 式を用いると、(9) 式は次のようになる。

$$Q = B P \quad (11)$$

スケールファクター  $P$  は未知である。  $F$  が与えられることによって定まる。

(8) 式は、未知数  $p_i$  ( $i = 1, 2, 3, \cdots, n$ ) の係数が  $a_{ij}$  ( $i, j = 1, 2, 3, \cdots, n$ ) である、線形連立方程式の行列による表現であることは、(5) 式より明らかである。

結局、インベントリ分析は与えられた最終デマンド  $F$  について (8) 式をといて  $P$  を求め、(11) 式に代入して  $Q$  を求めるという形で定式化される。行列  $A$  が正則なら (8) 式より

$$P = A^{-1} F \quad (12)$$

(11) 式に代入して次を得る。

$$Q = B A^{-1} F \quad (13)$$

$A$  は  $n$  次の正方行列である。  $A_i$  が  $A_j$  ( $j \neq i$ ,  $j = 1, 2, 3, \cdots, n$ ) に従属する場合は、  $A_i$  の定義からほぼ数値的な偶然と考えられる。したがってほとんどの場合  $A$  は正則と考えるのが妥当であ

り、(13) 式によって対象とする系のインベントリ量が求められる。

### 1. 3 インベントリ分析の計算

LCA の基本理念 from the cradle to the grave を完全に行うことは非常に難しい。理由は、多くの場合対象とする系全体のデータを、一時に揃えることができないからである。インベントリ分析に必要なデータは、データベースの検索、聞き取り調査、下計算などによって収集していくのが普通である。したがって、データが揃ったひとまとまりの部分から LCA の計算を実施し、これを積み重ねて全体に対する結果を得るのが普通である。

上に述べた、データが揃ったひとまとまりの部分のステージと呼ぶことにする。ステージは複数のプロセスから成り、それ自身 LCA の対象となりうるものであって、系を系自身と同型に分割してできる一部分なのである。したがってステージにおけるインベントリ量の計算は、上に述べた系全体に対する定式化をそのまま適用することができる。

ただし、ステージにおける最終デマンドは、系の最終デマンドに直接関連するプロダクトであって、ステージへの分割の際そのように選択する。

系全体が  $N$  ケのステージからなっていると考え、  $\lambda$  番目のステージのプロダクト数を  $n_\lambda$  とし、経済部行列、環境部行列、最終デマンドベクトル、スケールファクターベクトルならびにインベントリ量ベクトルをそれぞれ  $A_\lambda$ 、 $B_\lambda$ 、 $F_\lambda$ 、 $P_\lambda$ 、 $Q_\lambda$  で表すと、これらはそれぞれ、 $n_\lambda \times n_\lambda$ 、 $m \times n_\lambda$  行列、ならびに  $n_\lambda$ 、 $n_\lambda$ 、 $m$  次のベクトルである。資源・環境負荷については、すべてのステージに共通するものとした。したがってその数は、分割しても変わらない。しかし、一般的に  $\sum_{\lambda=1}^N n_\lambda \geq n$  である。理由は、多くのステージが同じプロダクト、例えば電力、燃料油などをインプットとして必要とするため、これらを生成するプロセスをその中に含めなければならないからである。

$\lambda$  ステージの行列、ベクトルをこのように定め、上述の考察を用いて次の式が得られる。

$$A_\lambda P_\lambda = F_\lambda \quad (14)$$

$$Q_\lambda = B_\lambda P_\lambda \quad (15)$$

$A_\lambda$  は前節で述べたように正則と考えてよいの

で、(13) 式と同じ形の次式により  $\lambda$  - ステージのスケールファクターとインベントリ量が求められる。

$$P_{\lambda} = A_{\lambda}^{-1} F_{\lambda} \quad (16)$$

$$Q_{\lambda} = B_{\lambda} A_{\lambda}^{-1} F_{\lambda} \quad (17)$$

系全体のインベントリ量は、インベントリ分析が線形モデルに基づいていることから、重ね合わせの原理が適用でき、全ての  $\lambda$  について (17) 式により得られた  $N$  ケの  $Q_{\lambda}$  の、線形結合で与えられる。すなわち

$$Q = s_1 Q_1 + s_2 Q_2 + \cdots + s_{\lambda} Q_{\lambda} + \cdots + s_N Q_N \quad (18)$$

となる。係数  $s_{\lambda}$  は、 $Q_{\lambda}$  ( $\lambda = 1, 2, 3, \dots, N$ ) のスケールを合わせるためのもので、 $f_{\alpha}$  を  $F$  の一つの要素とし、関連するステージの  $F_{\lambda}$  の要素を  $f_{\nu\lambda}$  とすると次の式によって与えられる。

$$s_{\lambda} = \frac{f_{\nu\lambda}}{f_{\alpha}} \quad (19)$$

#### 1. 4 インパクト評価の定式化と計算

系の環境への影響を明らかにするため、インベントリ分析の結果からインパクト評価を行う。インベントリ分析により環境負荷は算定できても、それらがどの程度、環境や生態系、人の健康に影響を与えるのかを関連付けるのは難しい。排出された物質は単独ではなく、複合的に環境に対して複雑な影響を与えるからである。インベントリの形で収集された測定物質のほとんど全てが一対一の対応ではなく直接的・間接的、あるいは時間的な差を持ちながら環境に影響を与えていると考えられる。

インパクト評価は①分類化、②特性化、③統合化の三段階に分けて行われる。以下にインパクト評価の定式化と計算について述べる。

①分類化：環境影響のタイプ、すなわちインパクトカテゴリーを定める。例えば地球温暖化や酸性化などである。カテゴリーの数を  $L$  とする。

②特性化：上で定めた各カテゴリーを定量的に評価する指標を計算する。本論文で用いた指標は、インベントリ分析で得られた環境負荷すなわちインベントリ量の線形結合で表される。したがって、カテゴリー指標ベクトルを

$$CI = \begin{bmatrix} cI_1 \\ cI_2 \\ cI_3 \\ \vdots \\ cI_{\kappa} \\ \vdots \\ cI_L \end{bmatrix} \quad (20)$$

とし、線形結合の係数  $M_{\kappa k}$  ( $\kappa = 1, 2, 3, \dots, L$ ,  $k = 1, 2, 3, \dots, m$ ) を要素とする  $L \times m$  行列を  $M$  とすると、カテゴリー指標は (18) 式の  $Q$  を用いて次のように定式化される。

$$CI = MQ \quad (21)$$

③統合化：各インパクトカテゴリーのうちどれが重要であるかを判断し、総合的にインパクトを評価する。これは未解決の環境リスクに対する改善策の優先度を定めるために行われるもので、その手法はまだ研究段階にある。したがって、本論文ではカテゴリー指標を求めるまでとし、統合化についてはふれていない。

## 2. LCAの実際について

### 2. 1 目的と範囲の設定

本論文における LCA の目的と範囲は次のように設定した。

目的：われわれが日常的に飲用している牛乳について、1 章で述べた方法を生産から消費に至るライフサイクルに適用して環境への影響を評価すること。

範囲：牛乳の生産から消費に至るライフサイクルは、概略次のようなステージから構成されている。酪農家における乳牛の飼育と搾乳ならびに搾乳した原乳の貯蔵、原乳のデイリー工場への輸送、デイリー工場での精製と容器詰めによる製品化、製品乳の販売店への輸送、消費者による購入と消費、容器の回収と廃棄などを主な流れとして、乳牛の繁殖や育成、乳牛の排泄物の堆肥化、容器の製造と輸送、電力・エネルギーの生成と搬送さらに各ステージでの設備の建設、維持管理などもふくむさまざまなステージが存在する。

LCA の基本理念からは、この牛乳のライフサイクル全体を範囲とすることを考えた。しかし、これらに関して公表されているデータはほとんど無い。幸い訪問調査によって酪農家における原乳生産と堆肥製造のステージと、デイリー工場での

牛乳精製ステージに関するデータを得ることができたので、この2つのステージに範囲を限定した。したがって、酪農家、デイリー工場のどちらについても、設備の建設、維持管理に関するステージはもちろん、消費のステージも含まれていない。

## 2. 2 インベントリ分析

### 2. 2. 1 酪農家における原乳生産と堆肥製造ステージの構成

本ステージを構成するプロセス、プロセスの生成するプロダクト、ステージが必要とする資源ならびに環境負荷物質を表-1に規定した。表は次のような内容である。

列はステージを構成するプロセスを表している。表の最右列の上半分はこのステージでの最終デマンド（Final Demand：FD）の量を、下半分はこのステージでのインベントリ量を表している。行は中間に空白行が1つあるが、この空白行の上はプロセスのインプット・アウトプットの連関を表す経済部で、下半分は各プロセスの環境負荷ならびに資源消費の大きさを与える環境部である。経済部の各行はプロダクトを、環境部の各行は資源ならびに環境負荷物質を表している。これらは1. 2節で述べたことに対応している。経済部の行数とFD列を除く列数は同じであり、行に示す各プロセスのアウトプットの並ぶ順番は列に並ぶプロセスの順番と同じにしてある。表に於いてインプットは負数で、アウトプットは正数で与えられている。環境部についてもこの約束は同じで負数で資源を使うこと、正数で環境への負荷を示してある。

例をあげると、プロセス「牛体維持」は、一頭の牛が一日に21.39kgの飼料を食し、11.5kgの水を飲み、2.1378kwhの電力を使って牛一頭をアウトプットし、303.2gのCH<sub>4</sub>、18gのCO<sub>2</sub>、365.5gのN<sub>2</sub>を排出していることを表している。

表-1のデータは、訪問調査で聞き取った基本的な数値を基に、数少ない文献<sup>10), 11)</sup>と検索資料<sup>12)</sup>を参考にして推定したものである。以下にその詳細を示す。

#### S農場の基本データ：

飼育頭数 成牛 40頭（出生後2年（24ヶ月）で成牛となる。）  
育成牛 20頭（年10頭ずつ入れ替わる。）  
原則として1頭につき1年1産の自家

繁殖。

もともと、哺乳動物の母親が泌乳するのは出産した子供を哺乳するためであり、乳牛も例外ではない。そこで310～450日に一度出産させる。ここから泌乳が始まり、次回分娩予定日の60日前まで搾乳を続ける。この60日は、次の分娩の準備期間で乾乳期とよばれる。

**搾乳量** 1日1頭当たり平均25.93kg、全牛に対する平均で23kg程度搾乳している。

**乳牛の稼働率** 年間1頭当たり平均8395kg（牛乳の比重は約1であるから8395リットル（l）でもある）の牛乳を搾る。これは年間1頭当たり平均8395/25.93=323.7日搾乳したことである。分娩から次の分娩までを一サイクルと考えると、一サイクルは上に乾乳期間60日を加えた383.7日である。したがって、一サイクルにおける乳牛の稼働率は、平均323.7/383.7=0.8436となる。平均稼働率を頭数換算すると0.8436×40=33.7となり、常時33.7頭が搾乳されている。

**飼料** 季節によって異なるが、牧草などの植物とサイレージ（茎や葉などを細断したものをサイロに入れ乳酸醗酵させたもの）を、乾物換算で1頭当たり1日約10kgあたえる。

このほかに牛乳の成分維持のため濃厚飼料を1頭当たり1日約13kgあたえる。さらに稲わら・その他を8kgあたえ、全体で1頭当たり1日約31kgをあたえている。

**飲料水** 牛用の飲料水は地下水（井戸からポンプで汲み上げる）でまかなっている。牛は泌乳量の約3倍の水を飲む。

**ふん尿** 全体で1日約2000kg出る。これは醗酵熟成させて堆肥とする。排泄されたままの糞尿は水分が95%あるので、牛舎に敷いたオガクズ、植木の剪定屑（バーク）と混合して水分を調整し60～70%の水分とする。これに出来上がった堆肥を混合して約1週間醗酵させる。混合の割合は、生のふん尿4：オガクズ3：堆肥3である。熟成までには3～6ヶ月かかる。完成した堆肥はさらさらしていて臭気もなく、自家使用の他野菜農家へ売却する。

**電力使用量** 牛の体温は約40℃である。夏の期間（5月末～10月末）は暑さのため乳の出が悪くなるので、気温が28℃を超えると霧と風を使って牛舎を空調している。使用する扇風機は0.75kwのもの17台で、153日間連続運転するので0.75×17×153×24=46,818kwhの使用量になる。それ以外のものについては、電気料金の支払額から推定し

た結果、空調の使用量も含めた合計で年間117,733kwhとなった。

#### 酪農（乳牛）のデータ：

表－1のプロセス・プロダクトの関係を表すデータを、上述の基本データより作成した。

**乳牛の飲料水と飼料のアロケーション** 乳牛が飲む水と食べる飼料が、泌乳（牛乳）、排泄（ふん尿）、牛体維持（含む呼吸）の3つのプロセスに、どのように配分されているかを以下のようにして求めた。文献12)によると、牛乳中の水分は88.2%である。

文献11)には、乳量40kg/日の乳牛が飲む水は115kg/日で、その配分が示してある。それによれば、上述のS農場の乳牛一頭当たり平均乳量は23.0kg/日であるから、乳量比によって飲む量を求めると $115 \times 23.0 / 40 = 66.13 \text{ kg/日}$ で、配分は下表のように換算される。

S農場の乳牛一頭当たりの飲む水の配分

項 目	牛乳中水分	尿	ふん中水分	呼吸	合計
%	30.44	17.39	34.78	17.39	100.00
水分量kg/日	20.13	11.50	23.00	11.50	66.13

飲料水量/乳量 $=66.13 / 23.0 = 2.875$ で、上述の「牛は泌乳量の約3倍の水を飲む。」に符合している。

つづいてふん量を求める。文献10)に肉牛一頭一日当たりのデータが述べられている。このデータをもとに肉牛のふん中水分率を求めると、0.7734を得る。乳牛と肉牛とは異なる面があることは十分考えられるが、他に乳牛に関するデータが見つからないのでこれをベースに必要なデータを推定する。

上のふん中水分率を用いると、乳牛一頭当たりのふん量は上表のふん中水分量から

$$23.00 / 0.7734 = 29.74 \text{ kg/日}$$

$$\text{ふん乾物量は } 29.74 - 23.00 = 6.74 \text{ kg/日}$$

したがって上表の尿量11.50kg/日と合わせると一頭当たりの、

$$\text{ふん尿現物量は } 29.74 + 11.50 = 41.24 \text{ kg/日}$$

となる。

S農場のふん尿量は基本データで述べたとおり、総量で一日約2000kgである。同農場では牛の一日平均稼働率は0.8436であるから、搾乳牛は33.7頭、乾乳牛は6.3頭、この他に育成中の牛20頭がいる。そこで各牛の重み係数をそれぞれ 1、3/4、3/5 と仮定して、

$$\text{ふん尿総量は } 41.24 \times (33.7 + 6.3 \times 3/4 + 20$$

$$\times 3/5) = 2079.53 \text{ kg/日}$$

この値は上述した2000kg/日と符合している。

したがって、ここで用いたふん中水分率はそれほど間違っていないと考えられる。

次に飼料のアロケーションを求める。文献5)によると、泌乳、牛体維持、妊娠などを考えた飼料のアロケーションは、牛乳のために85%、肉のために15%消費されるとある。

しかし、飼料のアロケーションに関してこれ以上のデータはない。したがって泌乳（牛乳）、排泄（ふん尿）、牛体維持（含む呼吸）の3プロセスに対するアロケーションを求めるには別の考慮が必要である。ここでは次のようにした。

基本データによると、飼料は乳牛一頭につき、乾草・サイレージ+濃厚飼料+イナワラ・その他で31kg/日、あたえられている。そこでこれが、

$$\text{ふん乾物に } 6.74 \text{ kg/日}$$

$$\text{牛乳の水分以外に } 23.00 - 20.13 = 2.87 \text{ kg/日}$$

$$\text{牛体維持、肉その他に}$$

$$31 - 2.87 - 6.74 = 21.39 \text{ kg/日}$$

と消費されるものとする。

以上より飲料水と飼料についてのアロケーション（配分）が、下表のように得られる。

飲料水ならびに飼料のアロケーション

プロセス	泌乳 (牛乳)	排泄 (ふん尿)	牛体維持 (含む呼吸)
飲料水配分 (kg/日)	20.13	34.50	11.50
飼料配分 (kg/日)	2.87	6.74	21.39

**乳牛の環境排出量** 文献10)には、肉牛一頭当たりのCH<sub>4</sub>、CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>の排出量が示されている。これをもとに飼料量比によって乳牛一頭当たりの環境排出量を推算する。文献10)の飼料量は12.27kg/日であるので換算係数  $31 / 12.27 = 2.527$  によって求めたものを下表に示す。

乳牛一頭当たりの環境排出量

環境排出量	CH <sub>4</sub> (呼気)	CO <sub>2</sub> (呼気)	N <sub>2</sub> (排出量)
kg/日	0.3032	0.0180	0.3565

排出量中、ふん量現物、ふん量乾物の重量は上述の通りそれぞれ41.24kg/日ならびに6.74kg/日である。

**堆肥製造に関するデータ** ふん尿から堆肥を製造するプロセスは、基本データで述べたように、ふん尿現物4、オガクズ・バーク3、堆肥3の割

合で混合して醗酵させる。したがって乳牛一頭について

ふん尿現物量

41.24kg/日 であるから

オガクズ・パークの量は

$3 \times 41.24 / 4 = 30.93 \text{ kg/日}$

混合させる堆肥の量は

$3 \times 41.24 / 4 = 30.93 \text{ kg/日}$  となり

混合醗酵させる総量は

$41.24 + 30.93 + 30.93 = 103.10 \text{ kg/日}$

結局、一日の堆肥製造量は

$103.10 - 30.93 = 72.19 \text{ kg/日}$  となる。

#### 醗酵方式の堆肥製造におけるガス排出量

醗酵方式による堆肥製造時に発生するガス量については、文献10)に述べられている方法を参考に、上で求めた乳牛一頭分のふん尿現物から計算した。詳細は文献を参照するものとして、その結果を下表に示す。

#### 醗酵方式の堆肥製造におけるガス排出量

項 目	ふん尿現物	有機物質	N	BOD
g/日	41,240	4,205	145.6	663.0
項 目	COD(Cr)	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>
g/日	2,652.0	1.05	1,459	29.12
項 目	N <sub>2</sub> O	堆肥 COD	堆肥 N <sub>2</sub>	
g/日	0.0458	1,591	116.5	

表の上段は堆肥の原料となったふん尿現物に関するデータであり、中・下段は計算の結果得られた発生ガスの排出量である。

**電力使用量** 電力の使用量はプロセス毎に電気料金の支払額から求め、乳牛一頭・一日あたりに平均化した。結果を下表に示す。

#### 乳牛一頭・一日当たりの電力使用量

プロセス	機 器	kwh/年	kwh/頭・日
牛体維持	牛舎空調扇風機	2,881.15	2.1378* <sup>1</sup>
飼料調整	サイロ・他	5,608.77	0.3047* <sup>2</sup>
給水	汲み上げポンプ	28,811.52	0.1565* <sup>2</sup>
搾乳・貯乳	搾乳機・冷却機	33,613.45	2.3423* <sup>3</sup>
混合醗酵	堆肥製造機	46,818.00	1.8263* <sup>2</sup>
合 計		117,732.89	6.7676* <sup>4</sup>

\* 1 : 60頭 (成乳牛40頭+育成乳牛20頭)・153日で平均化

\* 2 : 50.4頭 (ふん尿総量を計算した際の33.7+6.3×3/4+20×3/5)・365日で平均化

\* 3 : 33.7頭 (搾乳牛の平均稼働頭数)・365日で平均化

\* 4 : 上5項目の合計

**電力生産の排出量・資源消費量** 電力生産に伴う環境排出量と資源消費量は、JEMAI—LCAのデータシート<sup>3)</sup>より引用した。その値は下表の通りである。ただし、データシートの石炭、LNGの量は原油に対する発熱量比で原油量に換算した。すなわち次のようになる。

原油+石炭+LNG=

$0.0606 + 0.0536 \times (1/2) + 0.0286 = 0.1142 \text{ kg}$

#### 電力生産時の資源消費と環境排出量

項 目	Kg/kwh	項 目	Kg/kwh
原 油	0.1142	N <sub>2</sub> O	7.96E-6
CO <sub>2</sub>	0.4236	NO <sub>X</sub>	2.61E-4
CH <sub>4</sub>	9.70E-6	SO <sub>2</sub>	3.70E-4
CO	6.27E-5		

以上のデータを、表計算ソフトウェア Excel のワークシート上に適用して、作表したものが表-1である。

#### 2. 2. 2 酪農家における原乳生産と堆肥製造 ステージのインベントリ分析計算

表-1に示したA, f, p, B, q (太線の枠で囲ってある)をExcelにおける行列と定義すると、(16)、(17)式における $A_{\lambda}$ 、 $F_{\lambda}$ 、 $P_{\lambda}$ 、 $B_{\lambda}$ 、 $Q_{\lambda}$ で $\lambda=1$ とする場合に相当する。したがって、表-1の上でExcelの行列演算関数MINVERSE (逆行列)、MMULT (行列の積)を用いて(16)、(17)式の計算によって $P_{\lambda}=p$ 、 $Q_{\lambda}=q$ 、 $\lambda=1$ が得られる<sup>8)</sup>。

#### 2. 2. 3 デイリー工場での牛乳精製ステージの構成

本ステージを構成するプロセス、プロセスの生成するプロダクト、ステージが必要とする資源ならびに環境負荷物質を表-2に規定した。内容は表-1と同様であり、特に環境負荷物質は同一の項目とした。

表-2のデータは、工場から提供された基本的な数値を基に、以下のようにして調製したものである。

#### デイリー工場の基本データ：

提供されたデータは、平成14年5月から平成15年10月の間の月別製品売上量、平成14年度の月別重油ならびにプロパンガスの使用量、工場内各機器・設備の消費電力と一日の運転時間、さらに消毒、洗浄などに使用する薬品の量である。提供されたデータを一日あたりに調製した。



**製品生産量** 製品は、200、500、1000ccの各容量の紙パック詰牛乳である。本論文ではLCAの検討範囲から容器は省いたので、すべて1000ccの本数に換算した。売上本数は月毎に異なり各月は日数が異なるので、各月の平均売上本数を月の日数によって荷重平均し、1000ccの紙パック詰牛乳13535本を一日の平均売上とした。

**原乳・製品の輸送** 輸送に関するデータは、文献3)のトラック輸送に関するデータを参考にした。

牛乳の比重量はほとんど1kg/1000ccであるから、一日に平均売上げる牛乳の重量は13535kgとなる。インベントリ分析にはこの重量をデータとして用いた。

**電力使用量** 電力使用量は、各機器毎に提供された消費電力と動作時間の積として求め、対応するプロセスの使用量として下表のデータを得た。機器は、ポンプ、攪拌機、エアコンプレッサー、冷凍機などが主体である。

デイリー工場各プロセスの電力使用量 (kwh)

プロセス	原乳受入貯蔵	原乳精製	生乳充填	蒸気発生
電力使用量	19.05	303.3	105.48	1.49E-04
プロセス	冷却水製造	装置洗浄	燃料	用水汲み上げ
電力使用量	389.0	9.65	0.00202	33.0

**化学薬品** 装置の洗浄にはアルカリと硝酸を使用する。アルカリは9kg/日を毎日、さらに一週間に2日1.5kgを使用する。一週5日稼動するものとして次のように平均化した。

$$(9 \times 5 + 1.5 \times 2) / 5 = 9.6 \text{ kg/日}$$

硝酸の使用量は3kg/日である。ここではアルカリと硝酸の合計12.6kg/日を洗浄用の薬品とした。汲み上げた地下水ならびにその他の消毒・殺菌には塩素が使われている。塩素の使用量は、地

下水に3リットル/5日、手洗い・足洗いに80cc、プール用ハイクロン錠剤200g（70%が有効塩素）を1/2個/日、洗浄用に4.2リットル/日である。

一日の総使用重量を求めると、塩素の比重量を2.995kg/リットルとして次の通りである。

$$(3/5 + 80 \times 0.001 + 4.2) \times 2.995 + 200/2 \times 0.7 = 14.69 \text{ kg/日}$$

## 2. 2. 4 デイリー工場での牛乳精製ステージのインベントリ分析計算

表-2に示したAA, ff, pp, BB, qq（太線の枠で囲ってある）をExcelにおける行列と定義すると、(16)、(17)式における $A_{\lambda}$ 、 $F_{\lambda}$ 、 $P_{\lambda}$ 、 $B_{\lambda}$ 、 $Q_{\lambda}$ で $\lambda=2$ とする場合に相当する。したがって表-1の場合と同じようにして、表-2に対する $P_{\lambda} = pp$ 、 $Q_{\lambda} = qq$ 、 $\lambda=2$ が得られる<sup>8)</sup>。

## 2. 2. 5 系全体のインベントリ量計算

上で得た $Q_1 = q$ 、 $Q_2 = qq$ 、を(18)式に適用すれば、系全体の環境負荷 $Q$ を求めることができる。この際(19)式によって両者のスケールを調製しなければならない。酪農家のFDを基準にするものとすれば、表-1、2から $s_1 = 1$ 、 $s_2 = 23/13535$ となり、 $Q$ は次のようになる。ただし、 $Q = qq$

$$qqq = q + \frac{23}{13535} \times qq \text{ この結果を表-2の } qq \text{ の右側の列に示す。}$$

## 2. 3 インパクト評価

### 2. 3. 1 インパクトカテゴリーとその指標

本論文で問題としたインパクトカテゴリーとその指標の値は、下表によって求めた<sup>13)</sup>。

インパクトカテゴリーとその指標の計算式

カテゴリー	$cI_{\lambda}$	単位	計算式	引用
地球温暖化	1	t-C	$cI_1 = CO_2 + 35CH_4 + 260N_2O$	IPCC
酸性化	2	t-SO <sub>2</sub>	$cI_2 = SO_2 + 0.7NOX + 1.88NH_3$	UL
大気汚染	3	t-SO <sub>2</sub>	$cI_3 = SO_2 + 1.112NOX + 0.012CO + 0.33NH_3$	KK
富栄養化	4	t-PO <sub>4</sub>	$cI_4 = 0.0221COD + 0.42N_2 + 0.33NH_3$	UL
水質汚濁	5	t-OD	—	KK
水資源消費	6	t	$cI_6 = -0.001 \cdot \text{地下水量}$	—
鉱物資源消費	7	MJ	$cI_7 = -45 \cdot \text{原油量}$	—
廃棄物排出	8	t-DPW	—	—

UL：ライデン大学、KK：環境基準、tはtonを示す。

### 2. 3. 2 インパクトカテゴリー指標の計算

上の表に示すカテゴリー指標の計算式と、前節で求めたインベントリ量（ベクトル $Q$ の値）を用いて指標の値を次のように計算する。Excelのワークシート上に、カテゴリー指標計算式の係数を表-3ように作成し、 $CH_4$ ～原油に至る列と地球温暖化～廃棄物排出の行による部分を(21)式の行列 $M$ と定義し、これに右側よりベクトル $Q$ をExcelの関数MMULTIを用いて掛け算することにより、(21)式のカテゴリー指標ベクトル $CI=CIL$ が得られる。これを表の最右列に示してある。行列 $M$ のセルで負数表示は、資源消費に関することを意味している。インベントリ量 $Q$ の重量に関する単位はgの部分が多いがカテゴリー指標ではtonであるからCILは単位の換算を行ってton表示としてある。CILは牛一頭・一日分に対するカテゴリー指標であり、牛乳量にすると23kgに対するものである。

### 2. 4 結果の解釈

LCAのフレームワークの最終段階として、以上求めた環境負荷のインベントリ量ならびにインパクトカテゴリー指標の値から、牛乳生産における二つのステージが、環境にどのような影響を及ぼしているかを論じなければならない。しかし現段階で、そこまで研究が進んでいない。したがって本論文では、LCAの計算の方法について論じるとども、結果の解釈は、研究が進んだ段階で別の機会に論じたい。

### おわりに

LCAの実施に当たって必要となる、インベントリ分析、インパクト評価のための計算をいかに体系的に行うかを考察し、プロセス間のプロダクトの収支を線形連立方程式によって定式化し、表計算ソフトウェアExcelのワークシート上で行列演算を行って解を求める方法を提案した。また、LCAの対象とする系が線形であることから系をいくつかのステージに分割し、インベントリ量をステージごとに求めそれらを線形結合することで、系全体のインベントリ量が得られることを示した。さらにインパクト評価においても、カテゴリー指標の計算式が線形であれば行列演算に帰着できること、そして、これらの計算はすべてExcelのワークシート上の一連の操作によって行えることを示した。

この方法を用いることによって、実際問題がい

かに取り扱えるかを牛乳生産の二つのステージについて述べた。これからも本論文の方法によれば、LCAの計算が極めて容易に体系的にできることが示されたと考える。

残された課題はインパクト評価における統合化の研究で、結果の解釈が容易になるような方法を検討する必要がある。

最後に、本研究を実施する<sup>14)</sup>に当たり、多忙な中訪問調査にご協力いただき、貴重なお話とデータを提供くださった、諫早市農業委員で早田農場主の早田文亮氏、諫早乳業株式会社社長の山下武則氏に心からお礼を申しあげると共に、早田氏と山下氏をご紹介くださった諫早市役所農業振興課課長森永隆彰氏、同課技術吏員久保達彦氏、同市役所総務課課長馬場康明氏へ深甚の謝意を表したい。

### 参考文献：

- 1) (社) 未踏科学技術協会、エコマテリアル研究会：LCAのすべて、工業調査会、1995
- 2) Jeroen B. Guinee: Handbook on Life Cycle Assessment, (Operational Guide to the ISO Standards), Kluwer Academic Publishers, 2002
- 3) ライフサイクルアセスメント研究センター：JEMAI-LCA (LCA計算用ソフトウェア)、独立行政法人 産業技術総合研究所
- 4) 南齋規介・森口祐一・東野達：産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID) — LCAのインベントリデータとして、独立行政法人 国立環境研究所 地球環境研究センター、2002
- 5) Christel Cederberg and Berit Mattsson: Life cycle assessment of milk production a comparison of conventional and organic farming, Journal of Cleaner Production, vol.8, p.49-60, 2000
- 6) Svenskmjolk Swedish Dairy Association: Milk and Environment, <http://www.svenskmjolk.se>
- 7) Steve Diver, George Kuepper and Holly Born: Organic Tomato Production Horti-culture Production Guide, ATTRA, <http://www.attra.org/attra-pub/tomato.html>

- 8) 縄田和満：Excelによる線形代数入門、朝倉書店、2002
- 9) Reinout Heijungs and Sangwon Suh：The Computational Structure of Life Cycle Assessment、Kluwer Academic Publishers、2002
- 10) 農業水産省農業環境技術研究所：農業におけるライフサイクルアセスメント、養賢堂、2000
- 11) 巡回相談指導簿、畜産経営技術支援指導
- 12) 牛乳の成分、全国飲用牛乳公正取引協議会、  
<http://www.jmftc.org/seibun/seibun.html>
- 13) 石橋康弘・早瀬隆司・高尾雄二・有菌幸司・武政剛弘、LCA手法による排水処理システムの環境負荷評価、第9回地球環境シンポジウム講演論文集、2001. 7
- 14) 藤本容子：牛乳生産におけるライフサイクルアセスメント、2003年度卒業研究論文、長崎ウエスレヤン大学現代社会学部、2003. 2

表-1 酪農家・牛乳、堆肥生産ステージの連関表とインベントリ分析

	単位 (／日・頭)	牛 体 維 持	飼 料 調 製	給 水	搾 乳 ・ 貯 乳	排 泄	ふ ん 尿 水 分 調 整	堆 肥 還 元	混 合 醗 酵	電 力 生 産	F D
--	--------------	------------------	------------------	--------	-----------------------	--------	---------------------------------	------------------	------------------	------------------	--------

A											f
乳牛	—	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
飼料	kg	-21.39	31	0	-2.87	-6.74	0	0	0	0	0
飲料水	kg	-11.5	0	66.13	-20.13	-34.5	0	0	0	0	0
原乳	kg	0	0	0	23	0	0	0	0	0	23
ふん尿	kg	0	0	0	0	41.24	0	0	-41.24	0	0
オガクズ・バーク	kg	0	0	0	0	0	30.93	0	-30.93	0	0
原料堆肥	kg	0	0	0	0	0	0	30.93	-30.93	0	0
堆肥	kg	0	0	0	0	0	0	-30.93	103.1	0	72.17
電力	kwh	-2.1378	-0.3047	-0.1565	-2.3423	0	0	0	-1.8263	1	0

B											q
CH4	g	303.2	0	0	0	0	0	0	1.05	9.70E-03	304.3156
CO2	g	18	0	0	0	0	0	0	1459	423.6	4343.755
NH3	g	0	0	0	0	0	0	0	29.12	0	29.12
N2O	g	0	0	0	0	0	0	0	0.0458	7.96E-03	0.09967
N2	g	356.5	0	0	0	0	0	0	116.5	0	473
CO	g	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0627	0.424329
NOX	g	0	0	0	0	0	0	0	0	0.261	1.766344
SO2	g	0	0	0	0	0	0	0	0	0.37	2.504012
BOD	g	0	0	0	0	0	0	0	663	0	663
COD(Cr)	g	0	0	0	0	0	0	0	1591	0	1591
地下水	kg	0	0	-66.13	0	0	0	0	0	0	-66.13
原油	kg	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.1142	-0.77286

InvA

1	1.04E-17	0	-9.7E-18	1.3E-17	0	-1.3E-18	-1.3E-18	0
0.69	0.032258	0	0.004025	0.005272	0	0.003013	0.003013	0
0.1739	0	0.015122	0.013235	0.01265	0	0.007229	0.007229	0
0	0	0	0.043478	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0.024248	0	0.013856	0.013856	0
0	0	0	0	0	0.032331	0.013856	0.013856	0
0	0	0	0	0	0	0.046187	0.013856	0
0	0	0	0	0	0	0.013856	0.013856	0
2.375258	0.009829	0.002367	0.105137	0.003586	0	0.027355	0.027355	1

p=(InvA)f

1
1
1
1
1
1
1
1
6.7676

表-2 デイリー工場での精製ならびに原乳・製品乳輸送ステージの運搬表とインベントリ分析

	単位 ( / 日 )	原乳受入貯蔵	原乳精製	生乳充填	電力生産	蒸気発生	冷却水製造	装置洗浄	原乳輸送	製品乳輸送	燃料	用水汲上	化学薬品購入	F D
AA														
原乳	kg	13535	-13535	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
生乳	kg	0	13535	-13535	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
製品乳	kg	0	0	13535	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13535
電力	kwh	-19.05	-303.3	-105.48	1	-1.49E-04	-389	-9.65	0	0	-0.00202	-33	0	0
蒸気(殺菌用)	kg	0	-16000	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
冷却水	kg	0	-120000	0	0	0	120000	0	0	0	0	0	0	0
洗浄水	kg	-22000	-22000	-21000	0	0	0	65000	0	0	0	0	0	0
原乳輸送	t・km	-262	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
製品乳輸送	t・km	0	0	-300	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
燃料油	kg	0	0	0	0	-0.02046	0	0	-0.02502	-0.02502	1	0	0	0
用水	kg	0	0	0	0	-1	-120000	-65000	0	0	0	201000	0	0
化学薬品	kg	0	0	0	0	0	0	12.61	0	0	0	14.69	1	0
BB														
CH4	g	0	0	0	9.70E-03	0	0	0	0	0	0	0	0	8.366777
CO2	g	0	0	0	423.6	245.1	0	0	0.1044	0.1044	116.4	0	0	4326774
NH3	g	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29.12
N2O	g	0	0	0	7.96E-03	4.95E-02	0	0	0	0	5.89E-02	0	0	818.9738
N2	g	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.4913507
CO	g	0	0	0	0.0627	1.94E-02	0	0	0	0	1.44E-02	0	0	473
NOX	g	0	0	0	0.261	0.537	0	0	0.0016	0.0016	0.179	0	0	369.3982
SO2	g	0	0	0	0.37	0.142	0	0	1.40E-04	1.40E-04	0.438	0	0	8879.135
BOD	g	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2740.752
COD(Cr)	g	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	663
地下水	kg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-201000	-407.6889	1591
原油	kg	0	0	0	-0.1142	0	0	0	0	0	-1.01112	0	0	-443.689
qq														
qqq														
ff														
pp														
InvAA														
7.39E-05	7.39E-05	7.39E-05	7.39E-05	7.39E-05	0	8.16E-22	0	0	0	0	0	8.16E-22	0	1
0	7.39E-05	7.39E-05	7.39E-05	7.39E-05	0	-8.2E-22	0	-8.2E-22	0	0	0	-8.2E-22	0	1
0	0	0	7.39E-05	7.39E-05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0.001917	0.055448	0.063728	0.063728	0.063728	1	0.000355	0.0003406	0.000313	5.06E-05	5.06E-05	0.002022	0.000164	0	862.55429
0	1.18212	1.18212	1.18212	1.18212	0	1	0	-1.3E-17	0	0	0	-1.3E-17	0	16000
0	7.39E-05	7.39E-05	7.39E-05	7.39E-05	0	-8.2E-22	8.33E-06	-8.2E-22	0	0	0	-8.2E-22	0	1
2.5E-05	5E-05	7.39E-05	7.39E-05	7.39E-05	0	0	1.54E-05	0	0	0	0	0	0	1
0.019357	0.019357	0.019357	0.019357	0.019357	0	2.17E-19	0	0	1	0	0	2.17E-19	0	262
0	0	0.022165	0.022165	0.022165	0	0	0	0	0	1	0	0	0	300
0.000484	0.024668	0.025223	0.025223	0.025223	0	0.020458	-2.2E-19	0	0.02502	0.02502	1	-2.2E-19	0	341.38924
8.09E-06	6.62E-05	7.39E-05	7.39E-05	7.39E-05	0	4.98E-06	4.98E-06	4.98E-06	0	0	0	4.98E-06	0	1
-0.00043	-0.0016	-0.00202	-0.00202	-0.00202	0	-7.3E-05	-7.3E-05	-0.00027	0	0	0	-7.3E-05	1	-273

表-3 系のインパクトカテゴリー指標(牛1頭・1日当たり)

	単位	CH4	CO2	NH3	N2O	N2	CO	NOX	SO2	BOD	COD	地下水	原油	CI	CIL
M															
地球温暖化	t-C	35	1	0	260	0	0	0	0	0	0	0	0	22735.53	0.022736
酸性化	t-SO2	0	0	1.88	0	0	0	0.7	1	0	0	0	0	73.70522	7.37E-05
大気汚染	t-SO3	0	0	0.33	0	0	0.012	1.112	1	0	0	0	0	35.52595	3.55E-05
富栄養化	t-PO4	0	0	0.33	0	0.42	0	0	0	0	0.0221	0	0	243.4307	0.000243
水質汚濁	t-OD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
水資源消費	t	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.001	0	0.407689	4.08E-07
植物資源消費	MJ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-45	68.70691	6.87E-05
廃棄物排出	t-DPW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0